

УДК 622.236.9

О.А. Азимов, П.П. Ананьев, К.И. Наумов

## ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИМПУЛЬСНОЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ОБРАБОТКИ НА ИЗМЕНЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ МАТЕРИАЛА В ПРОЦЕССЕ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ

Приведены результаты лабораторных исследований и расчетов удельной поверхности, по которым можно определить, что при ИЭМО выход класса – 0,5 мм увеличивается, но при этом не изменяются его поверхностные свойства, что характеризует увеличение однородности материала и уменьшение шламов.  
Ключевые слова: измельчение, удельная поверхность, коэффициент.

**И**змельчение полезных ископаемых – это один из наиболее важных процессов перерабатывающей промышленности.

Для управления процессом измельчения различных материалов с целью получения желаемой характеристики крупности готового продукта необходимо знать, как протекает данный процесс во времени, т.е. знать его кинетику измельчения. Изучением кинетики измельчения занимались в разное время многие исследователи, такие как Е. Дэвис, Миттаг, А.И. Загустин, В.В. Товаров, О. Теймер, А.Г. Тунцов, В.А. Перов, Е Робертс и т.д. [1]

Из всех известных уравнений характеризующих кинетику процесса измельчения в практике чаще всего используется уравнение Розина-Раммлера, оценивающее гранулометрический состав продуктов измельчения:

$$R = e^{-k \cdot a^m}, \quad (1)$$

где,  $R$  – полный остаток на сите или суммарный выход класса  $a$ , дол. ед.;

$a$  – размер отверстия сита (мм) или соответствующий класс крупности, мм;  $k$ ,  $m$  – коэффициенты, зависящие от свойств материала и зернистости  $a$ . Показатель степени  $m$  характеризует рассеяние частиц по крупности; чем больше  $m$ , тем выше однородность материала. [1]

Пользуясь уравнением (1) можно выразить удельную поверхность узкой фракции:

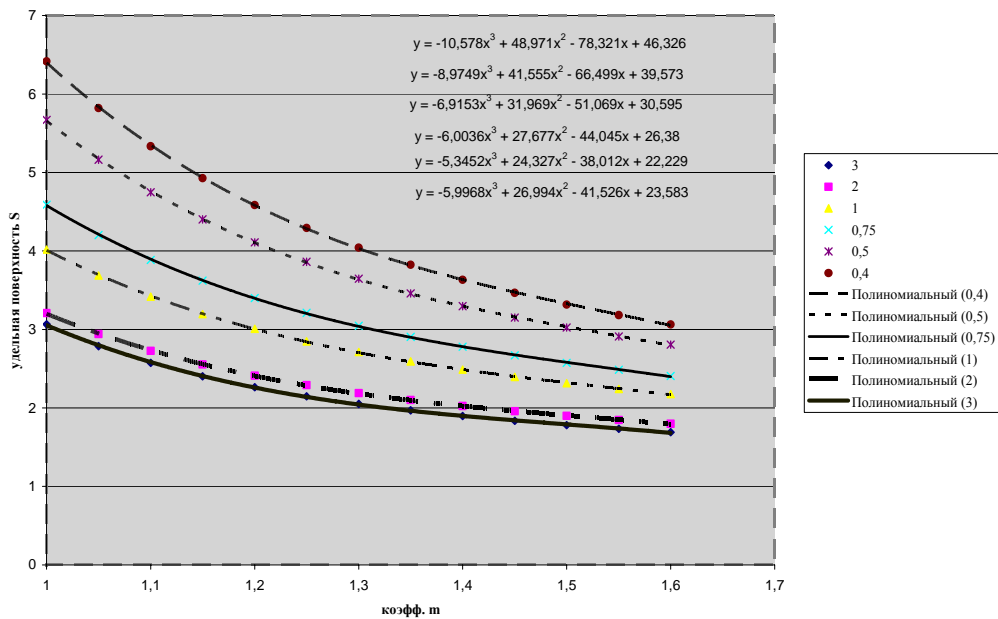
$$ds = \frac{dR}{da} \cdot \frac{1}{a} da = \frac{da}{a} \cdot (-k \cdot m \cdot a^{m-1} \cdot e^{-k \cdot a^m})$$

$$ds = -k \cdot m \cdot a^{m-2} \cdot e^{-k \cdot a^m} da. \quad (2)$$

Удельная поверхность фракции в диапазоне крупности  $a_1$  до  $a_2$ .

$$S_{a_1 a_2} = -k \cdot m \int_{a_2}^{a_1} \frac{a^{m-2} \cdot e^{-k \cdot a^m} da}{R_2 - R_1}$$

$$S_{a_1 a_2} = \frac{-k \cdot m \int_{a_2}^{a_1} a^{m-2} \cdot e^{-k \cdot a^m} da}{e^{-k \cdot a_2^m} - e^{-k \cdot a_1^m}}$$



**Влияние степенного коэффициента  $m$  на удельную поверхность материала**

$$S_{a_1 a_2} = \frac{-k \cdot m \cdot \left[ \int_0^{a_1} a^{m-2} \cdot e^{-k \cdot a^m} da - \int_0^{a_2} a^{m-2} \cdot e^{-k \cdot a^m} da \right]}{e^{-k \cdot a_2^m} - e^{-k \cdot a_1^m}} \quad (3)$$

Обозначим  $k = \frac{1}{a_0^m}$  из уравнения 3

(при сите с размером ячейки  $a_0$ , и остатком на сите 37 %)

$$S_{a_1 a_2} = \frac{-m \cdot \frac{1}{a_0^m} \left[ \int_0^{a_1} a^{m-2} \cdot e^{-k \cdot a^m} da - \int_0^{a_2} a^{m-2} \cdot e^{-k \cdot a^m} da \right]}{e^{-\left(\frac{a_2}{a_0}\right)^m} - e^{-\left(\frac{a_1}{a_0}\right)^m}} = \frac{-m \cdot \left[ \int_0^{\frac{a_1}{a_0}} \bar{a}^{m-2} \cdot e^{-\bar{a}^m} d\bar{a} - \int_0^{\frac{a_2}{a_0}} \bar{a}^{m-2} \cdot e^{-\bar{a}^m} d\bar{a} \right]}{e^{-\left(\frac{a_2}{a_0}\right)^m} - e^{-\left(\frac{a_1}{a_0}\right)^m}}$$

$$= \frac{-m \cdot \left[ \int_0^{\frac{a_1}{a_0}} \left(\frac{a}{a_0}\right)^{m-2} \cdot e^{-\left(\frac{a}{a_0}\right)^m} d\frac{a}{a_0} - \int_0^{\frac{a_2}{a_0}} \left(\frac{a}{a_0}\right)^{m-2} \cdot e^{-\left(\frac{a}{a_0}\right)^m} d\frac{a}{a_0} \right]}{e^{-\left(\frac{a_2}{a_0}\right)^m} - e^{-\left(\frac{a_1}{a_0}\right)^m}}$$

Обозначим  $\frac{a}{a_0} = \bar{a}$  – относительная крупность.

$$S_{a_1 a_2} = \frac{-m}{a_0^m} \cdot \frac{\left[ \int_0^{\frac{a_1}{a_0}} \bar{a}^{m-2} \cdot e^{-\bar{a}^m} d\bar{a} - \int_0^{\frac{a_2}{a_0}} \bar{a}^{m-2} \cdot e^{-\bar{a}^m} d\bar{a} \right]}{e^{-\left(\frac{a_2}{a_0}\right)^m} - e^{-\left(\frac{a_1}{a_0}\right)^m}}$$

393 Таблица 1  
**Фракционный состав кварца после разрушения на копре**

№	Режим ИЭМО или контроль	выход по классам, дол. ед.					m	k	a <sub>0</sub>	S
		+5мм	-5+2мм	-2+1мм	-1+0,5мм	-0,5мм				
1	Контрольная (без ИЭМО)	0,204	0,455	0,148	0,078	0,115	1,114	0,264	3,299	0,622
2	НЧ-3имп (H=2,5*10 <sup>5</sup> А/м, 2кГц)	0,139	0,471	0,17	0,091	0,129	1,155	0,308	2,776	0,646
3	НЧ-10имп (H=2,5*10 <sup>5</sup> А/м, 2кГц)	0,176	0,489	0,138	0,083	0,114	1,157	0,27	3,102	0,625
4	НЧ-3имп (H=2,5*10 <sup>5</sup> А/м, 8кГц)	0,109	0,468	0,185	0,098	0,14	1,167	0,339	2,528	0,663
5	НЧ-5имп (H=2,5*10 <sup>5</sup> А/м, 8кГц)	0,113	0,456	0,19	0,096	0,145	1,144	0,346	2,529	0,666
6	НЧ-5имп (H=2,5*10 <sup>6</sup> А/м, 8кГц)	0,284	0,412	0,14	0,074	0,09	1,125	0,206	4,075	0,591
7	НЧ-3имп (H=2,5*10 <sup>6</sup> А/м, 8кГц)	0,384	0,342	0,123	0,066	0,085	1,032	0,182	5,217	0,586
8	НЧ-5имп (H=8*10 <sup>5</sup> А/м, 8кГц)	0,287	0,444	0,121	0,053	0,095	1,097	0,214	4,085	0,597
9	НЧ-1имп (H=1,2*10 <sup>5</sup> А/м, 2 кГц)	0,165	0,441	0,178	0,088	0,128	1,119	0,298	2,954	0,64
10	НЧ-3имп (H=1,2*10 <sup>5</sup> А/м, 2кГц)	0,111	0,482	0,183	0,092	0,132	1,191	0,323	2,581	0,656
11	НЧ-5имп (H=1,2*10 <sup>5</sup> А/м, 2кГц)	0,132	0,43	0,19	0,102	0,146	1,108	0,34	2,645	0,662
12	НЧ-1имп (H=2,5*10 <sup>5</sup> А/м, 2кГц)	0,107	0,443	0,199	0,1	0,151	1,135	0,36	2,462	0,673
13	НЧ-1имп (H=1,2*10 <sup>5</sup> А/м, 6 кГц)	0,159	0,448	0,177	0,09	0,126	1,135	0,296	2,924	0,639
14	НЧ-4имп (H=1,2*10 <sup>5</sup> А/м, 6 кГц)	0,125	0,449	0,186	0,095	0,145	1,123	0,341	2,605	0,663
15	НЧ-1имп (H=0,8*10 <sup>5</sup> А/м, 6 кГц)	0,12	0,442	0,195	0,1	0,143	1,138	0,34	2,583	0,663
16	НЧ-3имп (H=0,8*10 <sup>5</sup> А/м, 6 кГц)	0,16	0,47	0,167	0,082	0,121	1,153	0,287	2,956	0,634

$$\frac{-\int_0^{\bar{a}_2} \bar{a}^{m-2} \cdot e^{-\bar{a}^m} d\bar{a}}{e^{-\bar{a}_2^m} - e^{-\bar{a}_1^m}}$$

Чтобы оценить влияние степенного коэффициента  $m$  на изменение удельной поверхности, был произведен расчет удельной поверхности. При этом  $a_1 = 0,3$  мм,  $a_2 = 0,05$  мм, коэффициент  $m$  варьируется от 1 до 1,6 на основании полученных результатов была построена диаграмма, которая показывает что при увеличении степенного коэффициента  $m$  из уравнения Розина-Раммлера, удельная поверхность материала уменьшается.

Для оценки влияния ИЭМО на изменение удельной поверхности при измельчении, были проведены лабораторные исследования по разупроч-

нению кварцевой руды при разных режимах ИЭМО с последующим разрушением ударным способом на копре.

По полученным результатам лабораторных исследований были рассчитаны коэффициенты « $m$ », « $k$ », удельная поверхность измельченного материала контрольной пробы и проб, обработанных импульсным электромагнитным полем.

Анализируя полученные результаты (таблица) можно сделать вывод, что при определенных режимах ИЭМО выход класса – 0,5 мм увеличивается, но при этом не изменяются его величина удельной поверхности, что характеризует увеличение однородности измельченного материала и как следствие этого, приводит к уменьшению шламов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Тангаев И.А.* Энергоемкость процессов добычи и переработки полезных ископаемых. - М.: Недра, 1986. – 231 с.
2. *Гончаров С.А., Ананьев П.П., Бруев В.П.* Математическое моделирование процесса разупрочнения железистых кварцитов при их магнитно-импульсной обработке». Москва, Горный информационно-аналитический бюллетень. – № 10. – 2005, – С. 5–9.
3. *Гончаров С.А., Ананьев П.П., Иванов В.Ю.* Разупрочнение горных пород под действием импульсных электромагнитных полей. Учебное пособие. – М.: Изд-во МГТУ, 2006. **ГИИС**

#### Коротко об авторах

*Азимов О.А.* – аспирант Московского государственного горного университета, cigt@mail.ru

*Ананьев П.П.* – кандидат технических наук, ген. директор научно-образовательного центра «Инновационные горные технологии» (ЦИГТ), cigt@mail.ru

*Наумов К.И.* – кандидат технических наук, профессор, зав. кафедрой Физики горных пород и процессов,

Московский государственный горный университет,  
Moscow State Mining University, Russia, ud@msmu.ru